전력계통의 광역고장 사례분석 및 방지대책 수립 방안

오태규 | 한국전기연구원 전문위원(공학박사)
허 진 | 한국전기연구원 전력시장기술연구그룹

1. 서 론

현대 정보화 사회에서 전기(electricity)는 에너지원(energy source)으로서, 동력원(power source)으로서, 그리고 정보전달 신호(signal)로서 복합적 기능으로 작용하고 있으며, 이러한 전기를 전달하는 수송 체계는 중요한 사회기반시설이다. 이 전기 수송 체계에 이상이 생기면, 즉 정전사고가 발생하면, 인터넷의 불통 등 정보사회 기능이 마비되어 금융거래 등에 큰 혼란이 발생하고, 지하철, 전철, 항공, 도로 교통 신호의 정지 등 교통시스템의 기능이 마비되는 큰 혼란으로 사회적 안전 문제가 발생할 가능성이 높아지고 있다. 이제 광역정전으로 가정이나 산업 활동에서 발생하는 경제적 손실과 피해는 기하급수적으로 증가하고 있으며, 정보화 사회를 위한 인프라 기능 마비에 따른 사회적 손실이 중요한 문제로 대두되고 있다.

광역정전사고에 따른 사회적 혼란과 경제적 손실에 대한 대표적 사례로 2003년 8월 14일 미국 동북부 지역에서 발생한 대규모 정전사태를 들 수 있다. 초기 사고는 중부하 송전선로가 원인불명의 사고로 차단되면서 시작되었다. 차단된 선로로 전송되던 전력이 인접한 다른 중부하 선로로 이동하면서 해당선로가 열적으로 팽창하여 수목접촉사고로 진전되었고, 이러한 사고영향이 또 다른 인접선로와 계통으로 파급되면서 광역정전사고의 주요 요인으로 거론되는 소위 연쇄사고파급(cascading event)으로 발전하여 계통 불안정을 유발하였으며 계통운영자가 적절한 대책을 시행하기 전에 61,800 MW 부하가 차단된 광역정전사고로 복구하기까지 40여 시간이 소요된 대형정전사태가 되었다. 북미 지역 대정전 사고 후 한 달 여 시간 차를 두고 영국, 이탈리아, 스웨덴/덴마크 전력계통에서 광역정전이 발생하였다. 영국의 경우는 전력설

비 고장에 의한 단순사고였으나 북미 정전사태이후 퇴근길 교통이 혼잡한 시점에 발생하여 정전사고에 대한 사회적 관심을 다시 자극하는 계기가 되었다. 북미 정전사태만큼 사회적 관심을 끌지 못했지만 2002년 1월에 발생한 브라질 전력계통의 광역정전사고는 지리적으로 광범위한 지역에 산재한 전력계통이 계통 안정도라는 기술적인 문제로 정전이 발생할 수 있는 사례로 분석되고 있으며 계통의 안정도 향상을 위한 다각적인 대책이 검토 중에 있다.

우리나라에서도 공교롭게 북미 대정전 사태 이후 한 달 만에(2003년 9월 12일) 태풍 매미 피해로 인해 발생한 송전설비 고장으로 남부 지역 일부가 전기 공급이 중단되는 정전사태가 발생하였으며 복구까지 수일이 소요되었던 대형정전사고로 기록되고 있다. 일본에서는 1987년 여름에 무더운 여름 날씨로 점심 식사후 사무실 에어콘 부하가 급증하는 가운데 충분한 전력공급 능력을 갖추고 있었으면서도 소위 전압 불안정 현상에 의해 동경지역 계통이 붕괴되는 광역정전을 경험하였다. 이 후 일본에서는 전압안정도 향상을 위해 설비 투자와 함께 계통신뢰도 확보를 위한 기술개발에 상당한 노력을 경주하였다. 북미 정전사고이후 북미 전력계통 신뢰도위원회(NERC, North America Reliability Council)에서 2003년 8월 14일 대정전 검토보고서를 통해 광역정전 최소화 및 예방을 위한 46개 권고사항을 발표하였다. 이 46개 권고사항은 대정전 사고에 직접원인이 된 사항에 대한 조치사항을 포함하여 북미 전력계통의 신뢰도 제고를 위한 기술적 및 정책적 사항이 포함된 포괄적 내용을 담고 있다.

본 고에서는 광역정전 사례 및 특징을 분석해 보고 광역정전 방지를 위한 계통계획 측면, 계통운영 측면 그리고 신뢰도 정책방향에서의 중장기 대책방안을 살펴보기로 한다. 특히, 북미 광역정전의 사회적, 기술적 제도 비교를 통해 북미정전의 46개 권고사항을 우리나라 실정에 적합하게 수용하고 보완하기 위한 방안을 검토한 내용과, 신뢰도 관련기관 실무자 및 학계, 연구계 전문가로 구성된 신뢰도 실무협의회(산업자원부 전기위원회 전력시장과 주관)에서 제시된 정책방향에 대해 기술하기로 한다. 또한, 향후 광역정전 방지대책을 위한 기술적 대응방안에 대해 살펴보기로 한다.

2. 광역정전 사례 및 특징분석

2003년 8월 14일 북미지역 대정전을 비롯하여 유럽, 아시아, 중미 지역 국가에서 발생한 광역정전에 따른 사회 경제적 손실을 국가 재난 방지 대책 차원에서 전력공급 안정성 확보에 대한 사회적 관심을 끌었다. 비슷한 시기에 우리나라에서도 태풍

■■ 표 1 _ 국내 대규모 정전사례

일시	정전규모[MW]	정전시간	1차원인	진행과정
1971.9.27 12:58	1,278	1시간10분	서울#5 탈락	서울#5호기 탈락주파수저하(57.2) 동해, 영남화력 탈락 → 계통불안정 → 전계통 정전
1986.10.10 19:34	2,470	17분	태풍 베라	345kV 서대구#2T/L 차단 → #1T/L 차단(오동작) → 단독계통 구성 및 발전기 탈락 → 영남지역 광역정전
1991.11.19 4:37	3,025	26분	낙뢰	345kV 서청T/L 트립 → 인근 345kV 선로트립(오동작) → 154kV 선로 과부하, 저전압 트립 → 수도권 계통 불안정 → 광역정전
1994.7.14 15:22	1,710	58분	전력선 접촉	154kV 송전선로 지락 → 동서울 변압기 트립 → 인근 154kV 선로 트립 → 동서울계통 고립 → 광역정전
2003.9.12 20:14	4,000		자연재해(태풍)	태풍영향으로 발전기 445만kW 정지 및 345kV 23개 T/L, 154kV 128개T/L 정지됨

■■ 표 2 _ 2003년 북미지역 및 유럽의 대표적인 광역정전 사례

2003년 광역정전	발생일시	정전부하	고객 피해
미국 북미지역	8.14	6,180만kW	5천만명
이태리	9.28	1,960만kW	5,600만명
스웨덴/덴마크	9.23	655만kW (스웨덴 : 470만kW, 덴마크 : 185만kW)	400만명

매미의 피해에 의해 전력계통설비가 고장이 나면서 일부 지역에 전력공급 중단 사태가 발생하여 이에 대한 사회적 관심이 고조되었다. 표 1과 2는 국내외 대표적인 광역정전 사례를 정리한 것이다.

국내외 광역정전 사례를 통해 공통점 및 원인을 살펴보면 크게 계통설비 측면에서 계통설비 취약성 및 전력계통 기반시설의 유지보수 불량, 계통운영 측면에서 실시간 계통운영제어 협조부족과 급전원에 대한 부적절한 교육 및 훈련 그리고 정책적인 측면에서 신뢰도 기준유지의 강제성 부재로 구분할 수 있다. 2003년 북미지역의 광역정전 사례에서는 3T라 하여 Tools(운전자가 광역감시 및 평가, 조치사항을 분석하기 위한 수단), Training(모의훈련 장치, 프로그램 및 조치확인 등에 관한 교육), Trees(수목관리)의 미흡이 주된 원인으로 선정하였고, 이에 대한 대책으로 북미신뢰도 위원회(NERC)에서 46개 권고사항을 제시하였다.

2.1 광역정전의 일반적인 특징

광역정전은 일반적으로 복잡한 상호작용으로 다양한 지역에서 다중 사고의 중첩으로 발생하는 특징을 나타낸다. 광역정전의 일반적인 특징을 요약하면 다음과 같다.

- 단일 원인으로 유발되지 않음
- 정확하게 예측하기 어려고 확률이 낮은 사고 영향 파급으로 진행됨

• 계통계획에서 예상하기 어려운 다양한 계통운영 상의 상정고장이 존재함
• 계통운영자가 외란이 빠른 속도록 진행되는 것에 비해 신속하게 대응하지 못함

2.2 광역정전의 일반적인 원인

국내외의 광역정전 사례 분석을 통해 다음과 같은 사항이 광역정전의 일반적인 원인으로 지적되었다.

(1) 송전선로 주변환경 관리미흡 : 송선전 수목접촉

송전선로 경과지 부근의 수목관리가 미흡하여, 인근 송전선로 고장 등으로 조류가 급증한 송전선로가 수목에 접촉하였을 경우 또 다른 송전선로 사고로 파급되어 점차 광역정전 사고의 원인으로 진전된 사례가 있었다.(2003년 8월 14일 미국-캐나다 동부지역 대정전 사고)

(2) 무효전력의 운영 및 관리 미흡

과도 상태에서 발전기의 무효출력에 대한 평가가 불충분 한 것이 중요한 요인이 되고 있다. 무효전력 공급은 적정계통전압의 안정적 유지와 전력융통 등에 중요한 기술적 사항이나, 가혹조건하에서 발전기의 과도적 무효출력 모델링이 적절하지 않고, 이로 인해 대부분의 고장시 무효전력 출력 해석이 어려워 무효전력의 운영 및 관리에 어려움을 주고 있다. 이러한 이유는 발전기의 과여자 한계나 주위 온도가 높아서 출력이 저하되는 경우와 고정 역률 운전이나 전압저하로 무효전력을 제대로 공급하지 못하기 때문인 것으로 여겨지고 있다.

(3) 계통의 시각화 및 계통 모델링 부재

송전망의 안정운영의 책임이 있는 주체가 전체 계통을 쉽게 시각적으로 파악할 수 있는 수단(Visibility)을 가지지 못한 것을 지적 할 수 있다. 다수의 고장이 순차적으로 발생하는 경우 운영자는 다음에 발생 가능한 상정고장에 의한 계통의 영향을 파악하기 어렵다는 점이다. 그 이유는 상황모의를 위한 모델링의 부정확과 주요 송전망 설비고장을 볼 수 있는 수단 및 운영자의 무효전력 예비력 감시수단 부재뿐 아니라 설비 정지 또는 안전한계 재조정후 재평가를 시행하지 못하는 것 등이 있다.

(4) 계통의 보호 협조 및 운전원의 훈련 부족

보호계전기는 설비피해 방지, 계통의 건전성 보호를 위하여 비정상 운전조건을 감지하여 고장설비를 계통에서 분리하기 위한 목적으로 운영되나, 일부 후비보호 계전기는 고장이 아닌 과부하나 고장처럼 보이는 동요 등을 고장으로 오인 차단할 우려가

있어 전체 계통의 적절한 보호 계전기 협조는 매우 중요하다. 한편, 다수의 중복 고장으로 야기된 심각한 계통상황을 다루기 위해 현행의 '운영 절차서'로는 충분하지 못하다. 따라서 실계통 모의가 가능한 급전훈련설비 등을 이용한 운영요원 교육 및 절차의 강화가 필요하다.

이외에도 광역정전 방지대책은 계통설비의 취약개소 보강, 안정운영기준 확립, 신뢰도 유지기준의 강제성 확립 등 다양한 방향에서 검토되어야 이를 정리하면 다음과 같다.

○ 계통설비(계통계획) 측면
- 계통설비의 취약
- 전력계통 기반설비의 유지보수 불량

○ 계통운영 측면
- 실시간 계통 운영제어 협조 부족
- 부적절한 교육 및 훈련

○ 정책적인 측면
- 신뢰도 기준유지의 강제성 부재

3. 전력계통 광역정전 방지를 위한 중장기 대책 방안

광역정전 사례분석을 통해 도출된 광역정전 방지를 위한 주요 핵심사항은 적정 신뢰도 확보를 위한 설비의 적기 확충 및 보강, 계통상태 감시의 강화와 다중화, 송전선로 선하지 수목관리, 계통운영요원의 훈련 강화, 그리고, 광역정전 발생 시 피해 최소화를 위한 대책마련으로 사전모의 훈련 및 교육 등으로 비상시 신속한 대응 그리고 광역정전 예방을 위한 비상시 대응절차 및 기준수립 등을 들 수 있다.

본 고에서는 계통계획 측면에서의 광역정전 방지대책, 계통운영 측면에서의 광역정전 방지대책, 광역정전 방지를 위한 전력계통 신뢰도 정책방향 그리고 광역정전 방지대책의 기술적 특성을 분석하여 향후 국내 전력계통의 안정적 운영을 위한 광역고장 방지대책의 중장기적 방향에 대해 살펴보기로 한다.

3.1 계통계획측면에서의 광역고장 방지대책

가. 계통설비계획 측면에서의 방지대책

계통계획 측면에서 광역고장방지대책은 적정 신뢰도 기준 유지를 위한 설비확충과 계통특성개선을 위한 설비보강을 들 수 있다. 설비 확충은 장기송전망계획에 의거 연차별로 이루어진다. 이외에 우리나라 계통구성상의 특징을 고려할 때 중장기적으로 다음과 같은 설비계획 검토가 고려될 수 있다.

○ 충청권- 수도권 북상조류 연계 신규 송전루트 개발
- 당진화력-영흥화력간 AC 또는 DC 케이블
- 대규모 발전단지의 계통연계 신뢰도 제고

○ 제주지역 전력수급 안정도를 위한 HVDC 추가 및 연계선 건설

○ 수도권 북부지역 발전단지 개발
- 기존 전력계통 확장계획의 한계 도래
- 비무장지대 인근 북부 발전단지 건설 검토
- 남북통일대비 북부지역 전력계통 확보
- 북상조류 해소(송전선로 2~3개 루트 건설비 절감)

○ 동북아시아 계통연계 전력융통
- 예비전력 공유 ⇒ 발전소 입지난 해소 및 투자비 절감
- 전력계통 신뢰도 향상 및 환경오염 완화

○ 남북전력협력 추진
- 전력수급 및 송전계통을 고려 정부와 협의 추진

나. 계통안정도 향상 대책

○ 무효전력 보상설비 적기 확충(송전망 측면) : 전력계통의 안정적 운영을 위해 무효전력 보상설비 Shunt Capacitor, Shunt Reactror, SVC(Stactic Var Compensator) 그리고 중장기적으로는 FACTS 제어기 적용에 의한 전압안정성 개선을 들 수 있다.

○ 적정 주파수 유지를 위한 단계별 부하차단 : 계통주파수 유지기준(60±0.2 Hz)을 유지하기 위해 계통주파수별 부하차단량을 표 3과 같이 설정하여 운영

○ 고장용량 저감 방안 적용

■■ 표 3 _ 계통주파수 유지를 위한 부하 차단량 설정

계통주파수	부하탈락량(%)	계통주파수	부하탈락량(%)	비 고
58.8(0.1sec)	6	58.6(0.1sec)	7	계통주파수 유지기준
58.4(0.1sec)	7	58.2(0.1sec)	06	
58.0(0.1sec)	6	57.8(0.1sec)	5	

▷ 모선분리운전을 통한 고장전류 저감 (2004년 114개소)

▷ 한류리액터 설치로 고장전류 억제

- 345kV 화성S/S 모선 (2006.4)
- 345kV 해북T/L (2006.8)

▷ 대용량 차단기 사용

- 동경전력, 1990년 이후 CB 100대이상 교체 : 500kV 50KA ⇒ 63KA

▷ 고임피던스 변압기 설치 검토

- 발전소 승압 변압기 (22/345kV, 23/154/345kV)
- 345kV 변전소 M.Tr (345/154kV)

○ 송전망 이용요금 부과로 전력수요 및 발전설비 분산 유도 : 송전망 이용요금 부과로 전력수요 및 발전설비 분산을 유도하기 위해 발전소 인근지역으로 전력수요를 이용하게 하고 수도권 인근지역으로 발전소를 건설하도록 동기부여

○ 계통안정을 위한 계통계획 여유도 증가

계통계획 측면에서의 광역정전 방지를 위해 동기발전기 500 MVA 이상에 대해 발전기 계통안정화장치(Power System Stabilizer : PSS)를 설치운영하고 있으며, 신속한 응동으로 안정도 향상, 연속제어로 계통에 충격완화 그리고 수요 증가가 낮은 송전시스템에 최적운영을 위해 유영송전시스템(FACTS) 확대 적용이 검토되고

있다. 또한 송전계통측의 765 kV 신서산 #1, 2T/L 외 7개소와 발전소측의 345 kV 평택#11, 2T/L 외 7개소에 고장파급방지장치를 설치하여 운영하고 있다.

3.2 계통운영측면에서의 광역정전 방지대책

국내외 광역정전 사례를 계통운영측면에서 살펴보면 광역정전이 발생하는 주된 요인으로 전력설비의 과부하, 전압안정도 측면에서의 전압불안정, 과도안정도 문제, 고장용량문제, 저주파동요문제, 계통주파수문제 그리고 무효전력 관리 등으로 요약된다. 또한, 광역정전은 대부분 신뢰도 기준을 초과하는 다중 고장이나 고장시 초기 대응이 부적절하여 점차 확대 되는 등 다양한 형태가 있다. 이처럼 다양한 경우의 수를 만족하는 대책을 세우는 것은 거의 불가능 하므로 다음과 같은 대책을 수립하여 운영하고 있다.

○ 전력설비 과부하 대책 : 일반적으로 설비의 과열에 따른 절연파괴, 화재로 사고가 파급되며, 가공송전선로가 처짐으로 이물접촉과 단선 등으로 사고가 발생. 이러한 전력설비의 과부하 문제를 해결하기 위해 다음과 같은 대책 수립

- 1회선 고장시 잔여회선 120% 이내가 되도록 계통운영 제약설정
- 발전기 또는 부하 자동제어 설비 구비
- 송전망 보강

○ 전압 안정도(전압불안정) 대책 : 송전선고장에 따른 건전선로 부하조류증가와 이에 따른 계통전압 저하 현상이 발생 가능. 또한 부하밀집지역 발전기 정지, 송전선로 차단과 지역간 연계 송전선로 고장으로 전압 안정도 측면에서의 전압불안정 현상이 발생. 이에 대한 대책으로 계통운영자 입장에서는 다음의 사항들을 고려함

- 지역간 융통전력 운영한계 설정
- 송전선로 고장시 부하 자동제어 System 적용
- 순동무효전력 확보 (발전기, SVC, STATCOM, 동기조상기 등)

○ 과도안정도 문제 대책 : 3상 단락 등 계통고장 충격에 따른 발전기 동기탈조, 대단위 발전소 전 발전기 차단 등에 따른 계통불안정 초래 그리고 다수 발전기 탈락으로 계통 주파수 저하 및 부하 차단 등으로 문제유발. 이에 대한 대책으로는 인출 송전망 확보, 신규 전원단지 확보로 인한 전원 분산 그리고 발전소 인출송전선로 고장 시 발전기 차단을 유도하는 고장파급방지시스템 설치 운전 등을 대비책으로 적용

○ 고장용량 문제 대책 : 계통의 전력설비가 확충되고 고장용량이 증가하여 안전운영을 위한 계통분리 현상이 증가. 모선분리 상태가 지속되면 계통안정도가 저하되고 계통고장이 발생시 광역고장으로 확대 될 수도 있음. 이에 대한 대책으로 다음과 같은 기술 적용이 검토되고 있다.

- 대용량차단기 적용(신설 및 교체시)
- Section CB에 의한 모선분리방식 적용 추진
- 한류리액터 적용

○ 계통주파수 문제 대책 : 계통의 대전원 또는 대단위 부하가 탈락할 경우, 전력계통 주파수 문제가 발생. 이러한 주파수 문제에 대한 대책으로 다음과 같은 사항을 고려

- UFR 에 의한 부하차단
  - 제1단계 58.8Hz에서 6% 부하를 순시차단
  - 제2단계부터 제7단계(57.8Hz)까지 5%씩 부하 순시차단
  - 전계통수요의 41% 차단 설정운영

• 과주파수시 발전기 출력제어
  - 60.5Hz 발전기 출력 수동조정
  - 61.5Hz 하동, 당진, 태안T/P Alarm

○ 무효전력 관리 강화 : 계통에서 고장 발생 시 전압안정성 유지를 위해 적정조상설비를 설치 운영하여야 하지만, 정상 시는 수도권에 무효전력이 충분하여 수도권 연계선로에 무효전력의 역조류가 발생. 이러한 경우, 계통전압이 과다하게 상승함에도 불구하고, 765kV 등 대용량 송전선로 고장시의 무효전력 수급 불균형이 심화되어 계통이 불안정해는 것에 대한 대책으로 불가피한 실정임. 따라서 수도권 지역계통 및 수도권 연계선로 송전단에 순동무효전력 보상설비(SVC, FACTS, STATCOM 등)를 설치 운영하는 것을 검토할 필요가 잇음.

3.3 광역정전 방지를 위한 신뢰도 정책방향

가. 북미지역 송전망 운영과 국내 송전망 운영관리 비교

미국 북동부 정전사태가 발생한 2003년 8월 이후 우리나라의 전력계통에 광역정전 발생 가능성에 대한 각계의 의견이 분분했지만, 광역고장 방지대책 Task Force 팀의 분석과 대책 검토에 의해 우리나라 전력계통은 미국과는 다른 시스템으로 운영되고 있다고 판단되었다. 하지만, 설비자체의 노후화 등 계통설비에 대한 사고로 대규모 정전이 발생 할 수 있음을 간과해서는 안되므로 송전망 유지관리에 대한 대책이 요구된다.

■■ 표 4 _ 북미지역 송전망 운영과 국내 송전망 운영관리 비교

구분	북미지역 송전망	국내 송전망
송전망 소유	다수의 민간이 소유	○한전이 소유
계통운영 주체	○다수의 계통운영자 존재 - 미국 전체를 크게 3개(동부, 서부, 텍사스) 계통으로 구분 - 150여개의 지역에서 전력 수급을 위한 계통운영 실시	○단일 계통운영자 - 전력거래소가 독자적으로 계통운영을 실시
송전망 특성	○장거리, 지역간 연계선으로 구성되어 계통 안정성이 취약	○단거리, 환상망으로 구성되어 계통안정성이 높음
송전망 설비투자	○다수의 민간 송전사업자에 의한 설비투자 (경제성 추구 성향이 강함)	○한전에 의한 설비투자 - 전력수급기본계획에 의한, 전력계통의 안정성 등을 고려한 합리적인 송전망 투자
규제기관	○연방에너지규제위원회(FERC) 및 주(州) 공익사업위원회 등	○전기위원회

참고로 2003년 북미지역 광역정전 사태를 대상으로 북미지역 송전망 운영과 국내 송전망 운영관리 비교사항을 표 4에 요약하였다.

나. 북미 광역정전의 사회적, 기술적 제도 비교

미국 북동부 정전사태('03.8.14) 이후 산업자원부 전기위원회는 전문가로 구성된 실무협의회에서 미국-캐나다 합동 조사반이 작성('04.4.5)한 광역정전 예방을 위한 46개 권고항목에 대한 실무검토를 수행하였다. 전기위원회는 총 15차례 이상 전문가 회의 및 광역정전 워크샵을 개최하여 산학연 전문가의 의견을 수렴하였고 광역정전 예방을 위해 고시(전력계통 신뢰도 및 전기품질유지기준, 03.4 제정)를 개정(산업자원부고시 제2005-11호)하였다.

2004년도 "신뢰도 및 전기품질 실무협의회" 운영결과를 살펴보면, 46개 권고사항 중에서 "북미신뢰도위원회(NERC)의 이해당사자로부터 독립성을 보장받기 위한 재정적 자립지원" 등 12개 항목(2, 3, 5~7, 13, 17, 25, 29, 36, 45, 46)은 고유의 문제이기 때문에 국내 계통 적용을 위한 검토대상에서 제외하였고 또한, "송전선 경과지 산림벌채 관리기준 수립" 등 국내에 충분한 대책이 이미 수립된 18개 항목(4, 9, 14, 15, 16, 18, 26, 30, 33~35, 37~41, 43, 44) 시 검토대상에서 제외하였다.

국내 계통상황을 고려하여 "계통운영자가 적절한 부하차단을 수행한 경우의 면책" 등 4개 항목(8, 23, 24, 28)은 고시 개정에 반영되었고 "광역정전 분석에 필요한 수집 Data의 기준 확립" 등 2005년 중 대책수립이 가능한 6개 항목(1, 10, 11, 12, 19, 21) 그리고 "송전선로 열용량 정격규정 마련" 등 중장기 대책수립 6개 항목(20, 22, 27, 31, 32, 42) 등이 집중적으로 협의 운영되었다. 북미광역정전 46개 권고사항의 국내계통 검토 및 대책마련 사항을 표 5에 나타내었다.

광역정전 방지를 위한 기술적 대응 방안은 복구 및 예방조치와 같은 단기적인 측면과 정책적 사항 및 설비투자가 필요한 중장기적 관점에서 살펴볼 수 있다. 아래 제시되는 핵심기술을 이용하여 광역정전 방지를 위한 체계적인 대책수립을 고려할 수 있다.

3.4 전력계통 광역정전 방지를 위한 기술적 대응 방안

가. 복구 및 예방조치(Corrective & Preventive Actions) 측면

○ SPS(Special Protection System)

SPS의 일반적인 특성분류는 보호동작이 일반적인 보호동작의 범위를 벗어나 선택되어진 몇 개의 특정

■■ 표 5 _ 46개 권고사항 분석 및 대책 마련

대책 필요 여부			
구분		권고항목 번호	항목 수
대책불필요		2~7, 9, 13~18, 25, 26, 29, 30, 33~41, 43~46	30
대책마련 필요	고시개정	8, 23, 24, 28	4
	2005년 중 대책수립	1, 10, 11, 12, 19, 21	6
	중장기	20, 22, 27, 31, 32, 42	6
합계		-	46

사고에서 동작 경우, 계통이 일발적인 보호동작을 취했을 때 그 결과로 큰 동작위험이 발생할 수 있는 동작 경우 , 계통이 다중 신호 제어와 연계하여 넓은 지역, 여러 위치에서 동작 경우로 구분할 수 있다. 주요 특징은 다음과 같다.

- SPS 적용이 전력계통의 수송능력을 증가시킬 수 있지만 주요 목적은 전력계통의 안전도를 향상시키는 것임
- System Protection Scheme(/Remedial Action Scheme(RAS) 병행 가능
- 동작 특성은 통신을 통한 정보 취득에 의존함

○ 보호 및 제어 향상

- SCADA, EMS, 발전기제어시스템(Plant Control System), Protection relay의 안전한 운영, 정책, 그리고 사이버 환경을 고려하여 설계 및 운영

○ 보호기기의 검증 및 설계

- 개별 릴레이의 적절한 검증과 전반적인 릴레이 기기의 검증으로 예기치 못한 사고 방지
- 광역정전이 발생할 수 있는 지역에 보호기기 설계의 안전도를 향상시킴
- 계통조건이 변경에 따라 일정한 기준으로 보호설계를 검토

○ 전압안정도, 과도안정도, 미소신호안정도 검토

- 해석 툴의 개선 및 적절한 프로그램과 모델적용 : 전압안정도 해석의 경우 기존의 연속조류계산(Continuous Power Flow) 보다 시간영역 시뮬레이션(Time domain simulation) 툴을 활용하여야 함, 동적부하 모델 및 무효전력 제공 기기 모델링 수립 필요
- 기능이 강화된 EMS 프로그램에서 안정도 기능 해석 구현 필요
- 온라인 안정도 평가 및 프로그램 지원
  - 온라인 과도안정도(Transient Stability) 평가기술 개발
  - 온라인 전압안정도(Voltage Stability) 평가기술 개발
  - 온라인 미소신호안정도(Small Signal Stability) 평가기술 개발

○ 제어센터(Control Center) 기능 강화

- 실시간 시뮬레이션에 비해 편리성이 강화된 알고리즘과 계산프로그램을 계통운영자에게 제공
- 비상시 주변 제어기관과의 정보교환 수단 확립

○ 발전기의 무효전력 여유도를 확보하기 위한 송전레벨의 캐피시터(Capacitor) 뱅크 설치
- 대규모 Shunt Capacitor Bank의 신속 설치 (예: 미국 550kV 460MVar banks)
- 각 발전기에 무효전력 예비력(reactive power reserve) 확보
- 수력발전소에 동기조상기(Synchronous condenser) 운영

○ 저전압 부하차단(UV Load Shedding)
- 기존 UF(Under Frequency) 부하차단에 추가
- 부하밀집 지역 집중
- 자동(Automatic) 운영 및 안전성(Security) 확보

○ 효과적인 발전기 제어: 사고 파급에 따른 Trip 사고 방지
- 고전압에서 Excitation relay operating 확보
- V/Hz(Voltage per Hertz) relay에 V/Hz Limiter 적용운영
- Over/Under voltage & frequency 예방
- Overcurrent/Drum level, Boiler 문제 예방, Exciter protection 시스템 구축

○ 모델링과 시뮬레이션 기법 향상
- 시각동기화된 데이터를 이용한 계통모델링
- 상태추정 분석(자동 데이터 처리 분석)
- 실시간 상정사고 모의 해석

○ 발전기 무효전력 감시
- 발전기/SVC 무효전력 모니터링
- EMS 기능 중 일부로 발전기 무효전력 모니터링(WAMS 이용)

나. 정책적인 사항 및 장기투자 관점

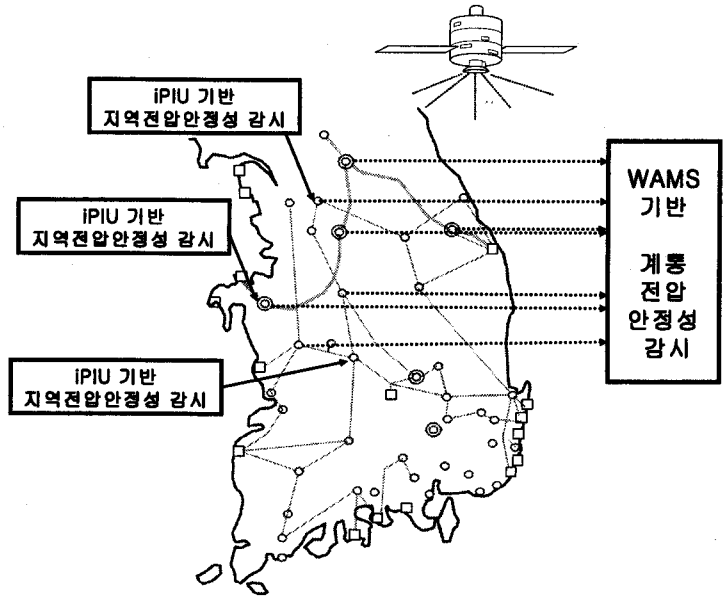
○ 자동화된 전력계통 복구 시스템 구축
- 사고(외란) 시 자동화된 시스템만으로는 전력계통의 불안정성 방지하기 어려움
- 전력 IT 기반의 통신, 측정 기법을 활용하여 자동화된 전력계통 복구 시스템 구축 필요
- 새로운 기술을 이용하여 복구절차를 지원하는 DTS(Dispatcher Training Simulator)와 같은 사고시나리오 및 훈련기술 개발

○ 송전망/배전망 강화
- 송전선로(Overhead Lines 및 Cables) 확충 및 송전망 강화
- 송전용량의 증대 및 제어를 위한 HVDC 및 FACTS 설비 적용
- 전압안정화를 위해 배전망에 무효전력 소스 공급
- 광역정전 방지를 위해 에너지 저장장치(Energy Storage) 및 초전도(Superconductivity) 계통기술 개발

○ 광역계통감시시스템(WAMS, Wide Area Monitoring System)/광역계통제어시스템(WACS, Wide Area Control System)
- 동기 위상 측정 장치(PMUs/iPIU)
- 제어센터에서의 Phasor data concentrator
- 30 packers/sec 데이터 전송률 구현(향후 60 packers/sec 구현)
- PUM(iPIU) 기반의 실시간 전압안정성 감시 시스템 구축(국내)

○ 전력계통 신뢰도 확보(북미 사례)
- FERC는 NERC의 신뢰도 기준 제/개정에 대

■■ 그림 1 _ WAMS를 이용한 실시간 전압안정성 감시시스템



한 의견수렴 및 계통운영자의 비상대처 훈련 강화]

- 미국과 캐나다 정부는 양국간의 전력계통 확보를 위한 제반사항을 다룰 양국의 ERO (Electric Reliability Organization) 감시그룹 설립

4. 맺음말

최근 전력계통에 광역정전사고가 발생하면서 광역정전에 대한 피해방지 및 대책수립에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 우리나라에서도 2003년 미국 북동부(8.14), 영국 런던(8.28), 말레이시아(9.1), 멕시코(9.2), 이태리(9.28) 등에서 일련의 정전사태가 발생한 이후 우리나라의 전력계통에 대한 다양한 분석과 평가가 수행되고 있으며, 검토결과 대체적으로 국내 전력계통은 미국과는 다른 시스템으로 운영되고 있어 미국 대정전과 같은 사태발생 가능성은 매우 낮은 것으로 평가되고 있다. 하지만, 우리나라에서도 광역정전이라는 예기치 못한 사고가 발생한다면 전력공급 중단으로 산업 활동의 중지뿐만 아니라 교통 등 사회 기반시설과 인터넷 등 정보시스템의 기능마비로 큰 사회적 혼란을 격게 될 것이다. 따라서 광역정전에 의한 정전피해를 최소화하기 위한 광역정전 방지대책의 적정성 평가와 장기전략 수립에 대한 검토의 필요성이 대두되었고 본 고에서 국내외 광역정전 사례 분석을 통해 중장

기적 광역고장 방지대책에 대해 살펴보았다.

국내 광역정전 방지대책은 사례분석을 통해 계통계획 측면에서의 방지대책, 계통운영 측면에서의 광역고장 방지대책 그리고 전력계통 신뢰도 정책방향에 대한 사항으로 분류할 수 있다.

계통계획 측면에서의 광역정전 방지대책으로는 수도권 전력공급의 안정화, 대용량 단위발전기 고장 등 수급불안정 대비, 대단위 발전단지 연결 송전선로 고장대책(총 6개소 수립), 수도권 무효전력 확충 등 송변전 설비 지속투자, 고장전류 억제를 통한 고장용량 저감 그리고 계통 신뢰도를 고려한 계통계획 수립 등이 검토되었다.

계통운영 측면에서의 광역정전 방지대책은 송전망의 적기 보강에 의한 전력설비 과부하 문제 해결, 순동무효전력(FACTS 기기 등) 공급을 통한 전압 안정도(전압불안정) 문제 해결, 고장파급방지시스템 구축을 통한 과도안정도 문제 해결, 대용량 차단기를 설치하여 고장용량 문제해결, 전력계통 안정화 장치 PSS 운영을 통한 저주파 동요 문제 해결, UFR에 의한 부하차단 및 과주파수시 발전기 출력제어 등의 계통주파수 문제 해결 그리고 무효전력관리의 강화를 통해 대규모 정전 발생을 미연에 방지하려는 노력을 하고 있다.

광역정전 방지를 위한 전력계통 신뢰도 정책방향측면에서는 전력계통의 적정 신뢰도 및 전기품질 유지에 관한 원칙과 기준을 산자부 고시로 제정하여 전력계통을 운영하고 있으며, 과거 여러 법규와 사업자문서 등에 분산되었던 규정을 종합적으로 정비하여 "전력계통 신뢰도 및 전기품질 유지기준"으로 2003년 4월 고시하였다. 산업자원부 전기위원회는 북미 광역정전 46개 권고사항 중 국내 계통상황을 고려하여 "계통운영자가 적절한 부하차단을 수행한 경우의 면책" 등 4개 항목은 고시 개정에 반영하여 광역정전 예방과 관련된 주요사항을 선진국 수준 이상으로 대폭 보강하기 위해 신뢰도 고시를 개정하였고 "광역정전 분석에 필요한 수집 Data의 기준 확립" 등 2005년 중 대책수립이 가능한 6개 항목 그리고 "송전선로 열용량 정격규정 마련" 등 중장기 대책수립 6개 항목으로 분류하여 대비책을 검토하는 등 우리나라 전력계통의 신뢰도 제고를 위한 정책개발이 다양하게 추진되고 있다.

우리나라는 전력거래소가 종합적인 감시, 제어를 수행 중이고 한전과 발전회사도 체계적으로 설비관리를 하고 있어 해외에서 발생한 고장 원인으로는 국내 대정전 발생 가능성이 없다고 판단되지만 끊임없이 변화하는 계통환경 및 사회환경 변화에 따라 광역정전이 유발될 수 있는 요소를 사전에 검토하고 중장기적인 방지대책 수립을 위해 지속적인 노력을 경주해야 할 것이다.